Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, 2024, p. 425-439

The effect of pH and light on the efficacy of spray solution stored of haloxyfop-r-methyl, fluazifop-p-butyl, and sethoxydim against wild barley (Hordeum spontaneum K. Koch)

Sh. Taheri[1], A. Aliverdi[2*], G. Ahmadvand[2]

1 and 2– Master's Degree and Associate Professor in Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)

Received: 17-01-2023 Revised: 19-03-2023 Accepted: 26-06-2023 Available Online: 01-07-2023	**How to cite this article:** Taheri, Sh., Aliverdi, A., & Ahmadvand, G. (2024). The effect of pH and light on the efficacy of spray solution stored of haloxyfop-r-methyl, fluazifop-p-butyl, and sethoxydim against wild barley (Hordeum spontaneum K. Koch). *Journal of Iranian Plant Protection Research, 37*(4), 425-439. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2023.80667.1128

Introduction

After preparing the spray solution of herbicide, there are situations where the farmer intentionally or unintentionally has to store the prepared spray solution for some time, even several days, in the sprayer tank. For example, when weather conditions for spraying become unfavorable, when a piece of failure in herbicide application equipment occurs, or when the spray solution at night is prepared to use at dawn. Herbicides either decompose chemically or react with compounds in the water, decreasing the efficacy of controlling weeds. Now, the first question that comes to mind is: how long can the herbicide be kept in the sprayer tank without losing its efficacy? In the water, herbicides inhibiting acetyl coenzyme A carboxylase (ACCase) undergo hydrolysis or photolysis, producing metabolites that do not have herbicidal properties. Therefore, the stored spray solution of ACCase-inhibiting herbicides cannot effectively control weeds. For this reason, it is suggested such a spray solution should be thrown away. The metabolites from ACCase-inhibiting herbicides, while not having herbicidal properties, are leached faster in the soil, have a higher half-life, and are more toxic to non-target organisms. Therefore, the suggestion to throw away the stored spray solution of ACCase-inhibiting herbicides does not seem logical not only from the environmental point of view but also from the economic point of view. Now, the second question that comes to mind is: what is the solution to reduce the speed of hydrolysis or photolysis? This study was carried out to investigate (*i*) the effect of the storage time of the spray solution of three ACCase-inhibiting herbicides (haloxyfop-r-methyl, fluazifop-p-butyl, and sethoxydim) on their efficacy in controlling wild barley (*Hordeum spontaneum*) and (*ii*) the effect of two factors of pH and light on the relationship above.

Materials and Methods

For each herbicide, an experimental three-factorial arrangement (6 × 2 × 9) as a completely randomized design with 4 replications. The first factor was six doses of herbicide (0, 20, 40, 60, 80, and 100% of the labeled dose); the second factor was two pHs of spray water (5 and 8); and the third factor was nine storage time/conditions (0, 24, 48, 96, and 192 h storage in the dark, 12+12, 24+24, 48+48, and 96+96 h storage in the dark+light). The spray solution corresponding to the zero level of the aforementioned third factor was prepared on the same day of spraying. For other levels of this factor, the relevant spray solution with a volume of one liter was prepared in the previous days (24, 48, 96, and 192 h before the day of spraying) and stored in transparent

https://doi.org/10.22067/jpp.2023.80667.1128

polyethylene terephthalate plastic bottles. The bottles were kept in two outdoor conditions: 1) kept in complete darkness - for this purpose, the bottles were kept in black plastic packed in a carton; and 2) kept in the darkness of the night and the light of the day - for this purpose, the bottles without any cover were exposed to the darkness of the night as well as to the sunlight. The treatments were applied at the four-leaf stage of wild barley; four weeks later, they were harvested, oven-dried, and weighed. A methodology known as dose-response curves was used to analyze the data to obtain the dose required for 50% control (ED_{50}).

Results and Discussion

When the solution was sprayed immediately after preparation, reducing the pH from 8 to 5 did not significantly affect the ED_{50} of haloxyfop-r-methyl and fluazifop-p-butyl. While the ED_{50} of sethoxydim significantly decreased from 136.64 to 113.35 g a.i. ha^{-1}, indicating that pH reduction can improve the efficacy of sethoxydim in the control of wild barely. The possible reason can be related to the difference in the formulation of the above herbicides. Haloxyfop-r-methyl and fluazifop-p-butyl are formulated as pre-herbicide. Under each condition (in terms of pH and light), when the time of storing the spray solution of herbicides was prolonged, a steady reduction of efficacy was observed. In the case of haloxyfop-R-methyl spray solution, when pH was not changed (pH 8), 24 h storage in the dark (43.78 g a.i. ha^{-1}) and 12+12 h storage in the dark+light (41.44 g a.i. ha^{-1}) significantly increased the ED_{50} as compared to the control treatment (0 h storage (34.60 g a.i. ha^{-1})). While when pH was reduced (pH 5), the efficacy of five treatments (including: 24 and 48 h storage in the dark and 12+12, 24+24, and 48+48 h storage in the dark+light) did not differ significantly from the efficacy of the control treatment. In the case of fluazifop-p-butyl spray solution, when pH was not changed (pH 8), all storage treatments significantly increased the ED_{50} as compared to the control treatment (0 h storage (80.64 g a.i. ha^{-1})). While when pH was reduced (pH 5), the efficacy of two treatments of 24 and 48 h storage in the dark did not differ significantly from the efficacy of the control treatment. In the sethoxydim spray solution, when pH was not changed (pH 8), all storage treatments significantly increased the ED_{50} as compared to the control treatment (0 h storage (136.64 g a.i. ha^{-1})). When pH was reduced (pH 5), the efficacy of all storage treatments still did not differ significantly from the efficacy of the control treatment.

Conclusion

If the pH of the spray solution was reduced, the spray solution of haloxyfop-r-methyl can be stored for at least 48 h in each light condition without losing its efficacy. If the pH of the spray solution was reduced and stored in the dark, the spray solution of fluazifop-p-butyl can be stored for 48 h without losing its efficacy. Sethoxydim is very sensitive to the storage of its spray solution. Changing the storage conditions, especially the pH, not only does not help in maintaining the efficacy but also causes a further loss in its efficacy.

Keywords: Alkaline decomposition, Effective dose, Grassicide, Hydrolysis, Photolysis

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷ شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص. ٤۳۹-٤۲٥

تأثیر پی‌اچ و نور بر کارایی محلول پاشش نگهداری شده فلوآزیفوپ-پی-بوتیل، هالوکسیفوپ-آر-متیل و ستوکسیدیم علیه جودره (*Hordeum spontaneum K. Koch*)

شهرام طاهری[۱]- اکبر علی‌وردی[۲*]- گودرز احمدوند[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

چکیده

گاهی اوقات محلول علف کش های آماده پاشش برای چند روز در مخزن سمپاش باقی می ماند. نگهداری علف‌کش‌های بازدارنـده آنـزیم اسـتیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز در مخزن برای چند روز منجر به تجزیه علف کش، کاهش کارایی محصول و ایجاد سمیت برای موجودات غیر هدف مـی شـود. آزمایش حاضر با دو هدف ۱) بررسی تأثیر مدت زمان نگهداری محلول پاشش هالوکسیفوپ-آر-متیل، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل و ستوکسیدیم بـر کـارایی آنها در کنترل علف‌هرز جودره و ۲) بررسی تأثیر دو عامل پی‌اچ آب سمپاشی و نور بر رابطه فوق اجرا گردید. پژوهش حاضر در سه آزمایش مستقل برای هر علف کش انجام گرفت. طرح آزمایشی برای هر آزمایش (هر علف‌کش) به صورت فاکتوریل (۶ × ۲ × ۹) در قالب طرح کـاملاً تصـادفی در ۴ تکـرار بود. اولین فاکتور شامل ۶ سطح از مقدار علف‌کش (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده روی برچسب)، دومین فاکتور شامل ۲ سطح از مقدار پی‌اچ آب سمپاشی (۵ و ۸) و سومین فاکتور شامل ۹ سطح از مدت زمان و شرایط نگهداری (صفر، ۲۴، ۴۸، ۹۶ و ۱۹۲ ساعت نگهـداری تحـت شرایط تاریکی، ۱۲+۱۲، ۲۴+۲۴، ۴۸+۴۸ و ۹۶+۹۶ ساعت نگهداری تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی) بودند. مقادیر ED_{50} (مقدار علف‌کش لازم برای کنترل ۵۰ درصدی) برای هالوکسیفوپ-آر-متیل و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل تحت تاثیر پی‌اچ آب سمپاشی قرار نگرفت. در حالی‌که با کـاهش پـی‌اچ آب سمپاشی از ۸ به ۵، مقدار پارامتر ED_{50} برای ستوکسیدیم به‌طور معنی‌داری از ۱۳۶/۶۴ به ۱۱۳/۳۵ گرم ماده مؤثره در هکتار کاهش یافت که نشان دهنده آن است که کاهش پی‌اچ آب می‌تواند باعث بهبود کارایی ستوکسیدیم در کنترل جودره شود. در تیمار شاهد (تهیه محلول پاشـش در همـان روز سمپاشی با آبی دارای پی‌اچ ۸)، مقدار هالوکسیفوپ-آر-متیل، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل و ستوکسیدیم لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره به ترتیب برابر ۳۴/۶۰، ۸۰/۶۴ و ۱۳۶/۶۴ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد. در هر وضعیتی (از نظر پی‌اچ و نور)، با افزایش مدت زمان نگهداری محلول پاشش علف‌کش‌ها، مقادیر پتانسیل نسبی آنها به‌طور پیوسته کاهش یافت که حاکی از کاهش کارایی علف‌کشی آنهاست. ستوکسیدیم حساسـیت بسـیار شدیدی به نگهداری محلول پاشش نشان داشت؛ به‌طوری‌که امکان نگهداری محلول پاشش ستوکسیدیم بدون اُفت کارایی آن، حتی به مدت یک روز و حتی با تغییر در پی‌اچ و حذف نور میسر نشد. در حالی‌که با کاهش پی‌اچ و نگهداری محلول پاشش هالوکسیفوپ-آر-متیل و فلوآزیفوپ-پـی-بوتیـل در شرایط تاریکی، می‌توان از اُفت کارایی آنها تا دو روز جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: باریک‌برگ‌کش، تجزیه قلیایی، تجزیه نوری، دز مؤثر

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jpp.2023.80667.1128

مقدمه

حتی در مقیاس روز و ساعت، پیش‌بینی تغییرات جوی بسیار سخت است. پیش‌بینی ناپذیری شرایط جوی می‌تواند به سرعت شرایط را برای کاربرد علف‌کش نامناسب سازد. اغلب، بعد از آماده کردن محلول سمپاشی، شرایط نامناسب جوی مانع از کاربرد آن می شود. برای مثال، وقوع بارندگی بعد از کاربرد علف‌کش سبب شستشوی علف‌کش از روی سطوح علف‌های هرز می‌شود و وزش باد در حین سمپاشی نیز سبب بادبردگی قطرات پاشش علف‌کش به محل غیر هدف و آسیب به موجودات غیر هدف می‌شود (Stewart et al., 2009). گاهی نیز بعد از آماده کردن محلول سمپاشی، وقوع نقص در تجهیزات کاربرد علف‌کش مانع از کاربرد آن می‌شود (Eure et al., 2011) و گاهی کشاورزان اقدام به آماده کردن شبانه محلول سمپاشی با هدف پاشش آن در سحرگاه می‌کنند (Eure et al., 2013). در وضعیت‌های بالا، محلول سمپاشی آماده شده (خواسته یا ناخواسته) باید برای مدت زمانی، حتی چندین روز، در مخزن سمپاش نگهداری شود. بطور طبیعی، علف‌کش‌ها در محیط آب یا تجزیه (از طریق واکنش‌های شیمیایی نورکافت[1] و آب‌کافت[2]) می‌شوند، که شدت آن به‌مدت زمان و شرایط محیطی نگهداری، پی‌اچ آب، علف کش و فرمولاسیون آن بستگی دارد، یا اینکه با ترکیبات داخل آب سمپاشی واکنش می‌دهند، که باعث کاهش کارایی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز می‌شود. برخی از علف‌کش‌ها، بویژه علف‌کش های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوسیلاز مانند کلتودیم، ستوکسیدیم (Sandín-España et al., 2016)، کلودینافوپ پروپارژیل (Roy and Singh, 2005)، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (Balah et al., 2017)، هالوکسیفوپ-آر-متیل (Harrison and Wax, 1986) به نورکافت بسیار حساس هستند و با نگهداری محلول سمپاشی در شرایط حضور نور، مولکولشان تجزیه می‌شود. این درحالی است که خود مولکول آب می‌تواند مولکول بسیاری از علف‌کش‌ها را تجزیه کند. در مطالعه‌ای، نگهداری محلول سمپاشی علف‌کش‌های گلایفوسیت، لاکتوفن، توفوردی، آترازین، ایمازتاپیر، کِلتودیم و دایکامبا به‌مدت هشت روز در یک شرایط تاریک سبب کاهش قابل توجه کارایی آنها برای کنترل گونه‌ای علف‌هرز باریک‌برگ *Urochloa subquadripara* شد ولی بر کارایی علف‌کش پاراکوات تأثیری نداشت (Eure et al., 2013). در مطالعه‌ای دیگر، نگهداری سه روزه محلول سمپاشی توفوردی تأثیری بر کارایی این علف‌کش علیه گل قاصدک (*Taraxacum officinale*) نداشت (Schortgen & Patton, 2020). همچنین، کارایی فرمولاسیون مخلوط علف‌کش‌های دیورون و کارفنترازون

وقتی محلول سمپاشی آنها به‌مدت نه روز نگهداری شده بود تحت تأثیر قرار نگرفت (Eure et al., 2011). این در حالی بود که محلول سمپاشی تهیه شده از فرمولاسیون جداگانه هر کدام از این علف‌کش-ها وقتی یک روز نگهداری شدند، کارایی آنها به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. استیوارت و همکاران (Stewart et al., 2009) هیچ کاهشی در کنترل علف‌های هرز با نگهداری هفت روزه محلول سمپاشی دیفلوفنزوپیر، گلایفوسیت، گلوفوسینات آمونیوم، مزوتریون، آترازین، نیکوسولفورون و ریم‌سولفورون در یک شرایط تاریک مشاهده نکردند. نگهداری محلول سمپاشی علف‌کش پیرمترین به‌مدت چهار ماه در آب مخزن در شرایط طبیعی سبب اُفت تقریباً ۵۰ درصدی در کارایی آن شد (Xue et al., 2008). محققان نشان دادند که هر چقدر مدت زمان نگهداری علف‌کش ستوکسیدیم در آب سخت بیشتر باشد، منجر به کاهش کارایی آن می‌شود. آنها علت کاهش کارایی ستوکسیدیم را پیوند آن با کاتیون‌های موجود در آب (نه آب‌کافت) بیان کردند (Nalewaja et al., 1994). اتفاقی مشابه بین علف‌کش ایزوکسافلوتول با هیپوکلریت موجود در آب شرب گزارش شده است وقتی محلول سمپاشی آن به‌مدت یک روز نگهداری شد (Lin et al., 2003). با این وجود، نگهداری مخلوط ایزوکسافلوتول به همراه آترازین در آب شرب شهری به‌مدت هفت روز باعث شده تا اثر منفی هیپوکلریت موجود در آب شرب بر کارایی ایزوکسافلوتول از بین برود (Stewart et al., 2009). بوربوم (Boerboom, 2004) گزارش کرد که نگهداری محلول سمپاشی دایکامبا به‌مدت یک روز سبب کاهش کارایی آن می‌شود. وی بعد از تخلیه مخزن سمپاش مجدداً آنرا با آب مقطر پُر کرد و محلول جدید را بر روی گیاه سویا پاشید و علائم خسارت را روی سویا مشاهده کرد. بدین صورت، وی علت کاهش کارایی دایکامبا در زمان نگهداری محلول سمپاشی را مربوط به اتصال مولکول دایکامبا به جداره سمپاش دانست. در تحقیقی دیگر گزارش شده است که محلول پاشش نیکوسولفورون با گذشت زمان اسیدی‌تر می‌شود و نگهداری ۷۲ ساعته آن باعث کاهش ۳۰ درصدی کارایی آن در کنترل علف‌هرز باریک برگ پالیز (*Urochloa brizantha*) می‌شود (Silveira et al., 2020).

حال، اولین سوالی که در ذهن متبادر می‌شود این است که تا چه مدت زمانی می‌توان علف‌کش را در مخزن سمپاش بدون اُفت در کارایی آن نگهداشت (Stewart et al., 2009)؟ در محیط آب، علف کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوسیلاز دچار آب‌کافت شدیدی می‌شوند. حاصل آب‌کافت این علف‌کش‌ها، تولید ترکیباتی است که خاصیت علف‌کشی ندارند (Badawi et al., 2015). از این‌رو، محلول سمپاشی نگهداری شده علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوسیلاز نمی‌تواند علف‌های هرز باریک برگ (مثل جو دره) را به

1- Photolysis
2- Hydrolysis

طور مؤثر کنترل نماید. به همین دلیل، پیشنهاد شده است که چنین محلول‌های پاششی را باید دور ریخت. تحقیقات نشان داده است که ترکیبات حاصل از آب‌کافت علف‌کش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (Badawi et al., 2015)، کوئیزالوفوپ-پی-اتیل (Buerge et al., 2020) سریعتر از خود علف‌کش از نیمرخ خاک شسته می‌شوند و به آب‌های سطحی و زیر سطحی وارد می‌شوند. این در حالی است که نیمه عمر ترکیبات حاصل از تجزیه همین علف‌کش‌ها بیشتر از نیمه عمر خود آنها است. سلویا-موران و همکاران (Sevilla-Morán et al., 2017) نیز با شناسایی ترکیبات حاصل از تجزیه نوری ستوکسیدیم در آب، گزارش کردند که ترکیبات حاصل از تجزیه ستوکسیدیم در برابر نور پایدارتر از خود علف‌کش هستند، بنابراین احتمالاً در محیط‌زیست پایدارتر هستند. از طرفی دیگر، از نظر سمیتی نیز ترکیبات حاصله از علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز از خود علف‌کش سمی‌تر گزارش شده است. برای مثال، ترکیبات حاصل از آب‌کافت علف‌کش فنوکساپروپ-پی-اتیل سمیت بیشتری در مقایسه با خود علف‌کش علیه کک آبی مزین (*Daphnia magna*) دارند که در آب‌های شیرین یافت می‌شوند (Lin et al., 2007; Jing et al., 2016). ترکیبات حاصل از تجزیه نوری علف‌کش آلکوسیدیم در محیط آب علیه باکتری (Vibrio fischeri) و گوجه فرنگی سمی است (Sandín-España et al., 2013)؛ این درحالی است که خود علف‌کش سمیتی برای آنها نداشته است. بطور مشابه، ترکیبات حاصل از آب‌کافت علف‌کش دیکلوفوپ-متیل سمیت بیشتری در مقایسه با خود علف‌کش علیه جلبک آب شیرین (*Chlorella pyrenoidosa*) دارند (Cai et al., 2007). حتی ثابت شده است که ترکیبات حاصل از نورکافت علف‌کش فنوکساپروپ-پی-اتیل سمیت بیشتر در مقایسه با خود علف‌کش علیه جلبک آب شیرین دارند و نیمه عمر آنها نیز در محیط زیست بیشتر است (Lin et al., 2008). در مطالعه‌ای با مقادیر کمتر از حد کشنده علف‌کش، تجمع ترکیب حاصل از تجزیه دیکلوفوپ-متیل، یعنی دیکلوفوپ اسید، و عدم تجمع خود علف‌کش را در در بافت‌های ماهیچه بدن گونه‌ای از ماهی مورد بررسی و گزارش شده است (Abd-Alrahman et al., 2014).

از این‌رو، پیشنهاد دور ریختن محلول سمپاشی نگهداری شده علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوسیلاز نه تنها از نظر محیط‌زیستی، بلکه از نظر اقتصادی نیز منطقی به‌نظر نمی‌رسد. حال، دومین سوالی که در ذهن متبادر می‌شود این است که با چه راهکاری می‌توان سرعت آب‌کافت یا نورکافت علف‌کش را کاهش داد؟ گزارش شده است که علی‌رغم اینکه سرعت آب‌کافت علف‌کش متامیفوپ با افزایش پی‌اچ آب کاهش می‌یابد ولی عدم تأثیر پی‌اچ آب بر کارایی علف‌کش بیس‌پریباک در طول زمان نگهداری را نیز مشاهده شده است (Saha et al., 2018). به‌طور مشابه، سرعت آب‌کافت علف‌کش پروپاکویزالوفوپ در پی‌اچ آب خنثی در مقایسه با پی‌اچ‌های اسیدی و قلیایی کندتر گزارش شده است (Hazra et al., 2015). با این وجود، علف‌کش‌های کویزالوپ-پی-اتیل و کلودینافوپ پروپارژیل در محیط آب خاک با پی‌اچ اسیدی‌تر با سرعت کمتری آب‌کافت می‌شوند (Ahemad & Khan, 2009).

آزمایش حاضر با دو هدف اجرا گردید: ۱) بررسی تأثیر مدت زمان نگهداری محلول سمپاشی هالوکسیفوپ-آر-متیل، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل و ستوکسیدیم بر کارایی آنها در کنترل علف‌هرز جودره و ۲) بررسی تأثیر دو عامل پی‌اچ آب و نور بر رابطه فوق.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در اواخر تابستان و اوایل پاییز ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی بخش زراعت و آزمایشگاه بیولوژی علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. سنبله‌های علف‌هرز جودره از محوطه داخلی دانشگاه بوعلی سینا همدان در بهار ۱۳۹۹ جمع‌آوری شد. سنبله‌های جمع‌آوری شده درون کارتن بسته‌بندی تا زمان اجرای آزمایش در محیط اتاق نگهداری شدند. هیچ سابقه کاربرد علف‌کشی در محوطه جمع‌آوری سنبله‌ها وجود ندارد.

قبل از شروع آزمایش، به صورت دستی پوشینه لِمای (نه پالئا) بذرها از آنها جدا شد. حذف پوشینه لِما به دلیل عمل ممانعت‌کنندگی فیزیکی آن برای سر راه رشد جنین و خروج ریشه‌چه انجام گرفت که به وسیله چن و همکاران (Chen et al., 2004) به اثبات رسیده بود. بذرهای اصطلاحا پوسته کنده به‌مدت یک دقیقه درون محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد قرار گرفتند تا ضدعفونی سطحی شوند. بذرها از سمت شیاردار (جهت یکنواختی در جوانه‌زنی بذرها) بر روی یک لایه کاغذ صافی داخل پتری‌دیش‌هایی پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متری قرار داده شدند (داخل هر پتری‌دیش در حدود ۵۰ بذر). سپس، داخل هر پتری‌دیش در حدود ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۲ گرم نیترات پتاسیم در لیتر اضافه شد. تمامی پتری‌دیش‌ها داخل کارتن بسته‌بندی قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت در درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از چینه سرمایی، پتری‌دیش‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. تمامی مراحل نگهداری بذرها در شرایط تاریکی انجام گرفت (Aliverdi & Karami, 2020).

پتری‌دیش‌ها به گلخانه منتقل و تعداد پنج گیاهچه (بذر جوانه زده) که دارای ساقه‌پوش در حدود یک سانتی‌متری بودند به درون هر گلدان نشاء شد. بدین طریق که گیاهچه‌ها روی سطح خاک گلدان که قبلاً آبیاری شده بودند قرار داده شدند و بر روی آنها در حدود یک سانتی‌متر خاک ریخته شد. با ظهور اولیه ساقه‌پوش و قبل از پارگی آن، مجدداً در حدود یک سانتی‌متر خاک روی بستر کشت ریخته شد. از این‌رو، عمق کشت مجموعاً دو سانتی‌متر بود. اندازه گلدان‌ها که

پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی بودند ۱۳×۱۳×۱۳ سانتی‌متر بود. با توجه به مساحت گلدان‌ها، تراکم کاشت در حدود ۲۰۰ بوته در متر مربع بود. خاک مورد استفاده در تهیه بستر به‌ترتیب دارای نسبت چهار:یک:یک به‌ترتیب از خاک:ماسه بادی:کود دامی بود. گلدان‌ها درون گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان نگهداری شدند و هر شش روز یکبار، به‌طور یکنواخت و یکسان آبیاری شدند. در طول مدت آزمایش، دما و رطوبت نسبی داخل گلخانه در حدود ۱۵ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۳۲ الی ۵۹ درصد اندازه‌گیری شد

پژوهش حاضر در سه آزمایش مستقل انجام گرفت که در هر کدام یکی از علف‌کش‌ها (ستوکسیدیم، هالوکسیفوپ-آر-متیل و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل) مورد بررسی قرار گرفت. تمام مراحل این سه آزمایش با فاصله حدوداً یک هفته‌ای از یکدیگر انجام گرفت. طرح آزمایشی برای هر آزمایش (هر علف‌کش) به‌صورت فاکتوریل (۶ × ۲ × ۹) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار بود. اولین فاکتور شامل ۶ سطح از مقدار علف‌کش (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده روی برچسب)، دومین فاکتور شامل ۲ سطح از مقدار پی‌اچ آب سمپاشی (۵ و ۸) و سومین فاکتور شامل ۹ سطح از مدت زمان و شرایط نگهداری (صفر، ۲۴، ۴۸، ۹۶ و ۱۹۲ ساعت نگهداری تحت شرایط تاریکی، ۱۲+۱۲، ۲۴+۲۴، ۴۸+۴۸ و ۹۶+۹۶ ساعت نگهداری تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی) بودند. مقادیر علف‌کش استفاده شده در آزمایش‌ها برای ستوکسیدیم برابر ۱۱۲/۵، ۱۵۰، ۲۲۵، ۳۰۰ و ۳۷۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، برای هالوکسیفوپ-آر-متیل برابر ۲۱/۶، ۴۳/۲، ۶۴/۸، ۸۴/۴ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار و برای فلوآزیفوپ-پی-بوتیل برابر ۶۷/۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰ و ۲۲۵ گرم ماده مؤثره در هکتار بودند که مقادیر نهایی ذکر شده برابر مقدار توصیه شده روی برچسب علف‌کش‌ها می‌باشد. در تحقیقات قبلی ثابت شده بود که آب شرب شهری چون محتوی مقادیری هیپوکلریت است بر کارایی علف‌کش‌ها تأثیر سوء می‌گذارد (Lin *et al.*, 2003). از این‌رو و اینکه شرایط آزمایش به حالت واقعی نزدیکتر باشد، در آزمایش حاضر از آب مزرعه‌ای در همدان که دارای پی‌اچ حدوداً ۸ بود به‌منظور آب سمپاشی استفاده شد. از طریق پیش آزمایش، افزودن مقدار ۰/۳ گرم اسید سیتریک به ازای هر لیتر آب مذکور توانست پی‌اچ آن‌را به حدود ۵ کاهش دهد. محلول پاشش مربوط به سطح صفر سومین فاکتور پیش گفته در همان روز سمپاشی تهیه و بکار برده شد. برای سایر سطوح این فاکتور، محلول پاشش مربوطه با حجم یک لیتر در روزهای قبل (۱، ۲، ۴ و ۸ روز قبل از روز سمپاشی) تهیه و درون بطری‌هایی شفاف پلاستیکی پلی‌اتیلن ترفتالات نگهداری شدند. بطری‌ها تحت دو شرایط محیطی در محوطه بیرونی گلخانه نگهداری شدند: ۱) نگهداری در تاریکی کامل – برای این منظور بطری‌ها درون پلاستیک سیاهی که درون کارتن بسته‌بندی شده بودند نگهداری شدند؛ و ۲) نگهداری در تاریکی شب و روشنایی روز – برای این منظور بطری‌ها بدون هیچ پوششی که در معرض تاریکی شب و نیز در معرض تابش نور خورشید قرار داشتند نگهداری شدند (Lin *et al.*, 2000). لازم به ذکر است که در طول مدت نگهداری بطری‌ها (در بازه زمانی مهر ماه ۱۴۰۰) هیچ وقت ساعات ابرناکی رخ نداد. دمای محیط در طول مدت نگهداری بطری ها برابر ۶ ± ۱۷ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۱۲ ± ۳۵ درصد اندازه‌گیری شد. تیمارها در فضای آزاد بیرون گلخانه (دما هوا: ۱۴ الی ۲۱ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی: ۳۲ الی ۵۹ درصد و سرعت وزش باد: ۰ الی ۰/۴ متر بر ثانیه) به وسیله سمپاش پشتی فشاری مجهز به نازل بادبزنی ۱۱۰۰۲ در فشار ۳ بار با حجم پاشش ۲۳۰ لیتر در هکتار در مرحله ۴ برگی جودره بکار رفتند. در روز سمپاشی، بوته‌های موجود در داخل ۴ گلدان از فاصله ۱ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و وزن خشک به‌طور جداگانه توزین شد. میانگین آنها (۰/۱۷ گرم برای تک بوته) به‌عنوان وزن اولیه گیاهان در زمان اعمال تیمارها در نظر گرفته شد که از تمامی داده‌های بعدی بدست آمده در زمان برداشت نهایی آزمایش کسر گردید. پس از سمپاشی، گلدان‌ها مجدداً در درون گلخانه قرار داده شدند.

چهار هفته پس از سمپاشی، بوته‌های داخل گلدان‌ها از فاصله یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک آنها پس از دو روز خشکاندن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. داده‌های بدست آمده در ابتدا تقسیم بر پنج (تعداد بوته در هر گلدان) و سپس منهای وزن اولیه هر بوته در روز سمپاشی (۰/۱۷ گرم برای تک بوته) شدند. سپس، پاسخ وزن خشک تک بوته جودره به تیمارها با روش رگرسیون غیرخطی تجزیه و تحلیل گردید (Ritz *et al.*, 2015)؛ بدین صورت که پاسخ وزن خشک تک بوته جودره به تیمارها نسبت به مقادیر علف‌کش بکار رفته برازش غیرخطی داده شد. براساس نتایج آزمون عدم برازش ($p\text{-value} > ۰/۰۵$)، مدل ۴ پارامتری لگاریتمی (معادله ۱) برازش قابل قبولی روی داده‌ها فراهم کرد. همچنین، با بررسی نمودار باقی‌مانده‌ها مربوط به هر منحنی واکنش به مقدار، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آن‌ها محرز گردید. این مدل به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y = \frac{C+(D-C)}{\{1+\exp[B(\log X-\log ED)]\}} \quad (۱)$$

در این معادله، Y بیانگر وزن خشک تک بوته جودره، پارامترهای D و C به‌ترتیب حدود مجانب بالا و پایین وزن خشک جودره در مقادیر صفر و بی‌نهایت علف‌کش، پارامتر ED_{50} بیانگر مقدار علف کش لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره بین حدود مجانب بالا و پایین (D و C) است، و پارامتر B متناسب با شیب منحنی در محدوده‌ی پارامتر ED_{50} می‌باشد. آنالیزهای آماری در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت. برای مقایسه آماری بین مقادیر پارامتر

ED_{50} از خطای استاندارد آن‌ها استفاده شد.

در پایان، پتانسیل نسبی تیمار شاهد (تهیه محلول پاشش علف‌کش در همان روز سمپاشی با آب دارای پی‌اچ ۸) نسبت به هر یک از تیمارها با استفاده از نسبت پاسخ دوزهای مشابه (معادله ۲) محاسبه گردد که نشان دهنده میزان جابجایی افقی بین دو منحنی واکنش به مقدار علف‌کش است.

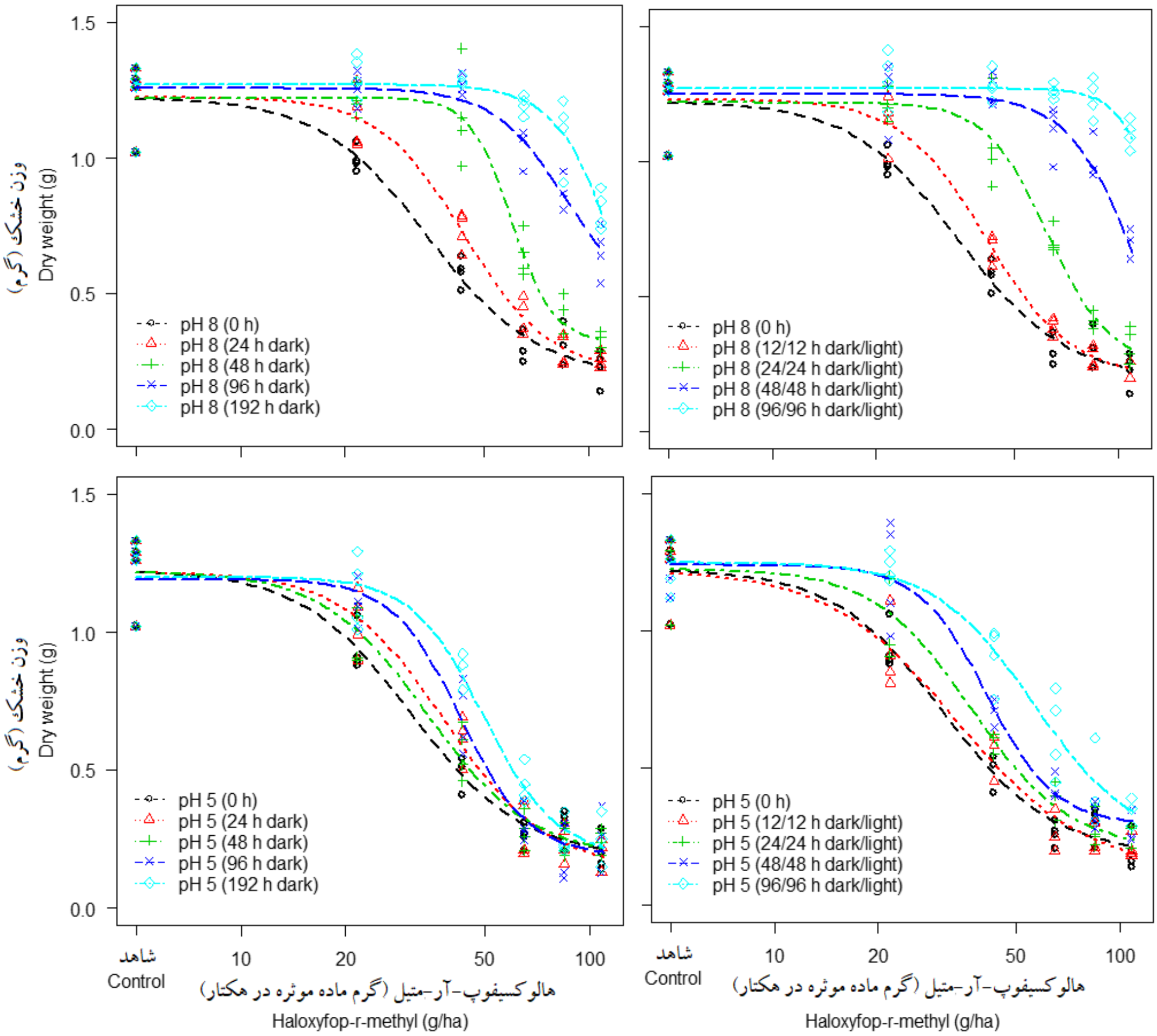
$$R = \frac{ED_{50}control}{ED_{50}x} \quad (۲)$$

در این معادله، پتانسیل نسبی (R)، ED_{50x} بیانگر مقدار علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره در هر یک از تیمارها و $ED_{50control}$ بیانگر مقدار علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره در تیمار شاهد (تهیه محلول پاشش علف‌کش در همان روز سمپاشی با آب دارای پی‌اچ ۸) است. چنانچه R برابر با یک باشد، نشان‌دهنده این است که تیمارهای x و شاهد دارای توانایی نسبی یکسانی است. اگر R بزرگتر از یک باشد، تیمار x قوی‌تر از تیمار شاهد است و اگر R کوچکتر از یک باشد، برعکس آن صادق خواهد بود. به‌عبارتی دیگر، اگر پتانسیل نسبی کوچکتر و یا بزرگتر از یک باشد، اعمال تیمار x موجب کاهش و یا افزایش کارایی علف‌کش شده است (Ritz *et al.*, 2015).

نتایج و بحث

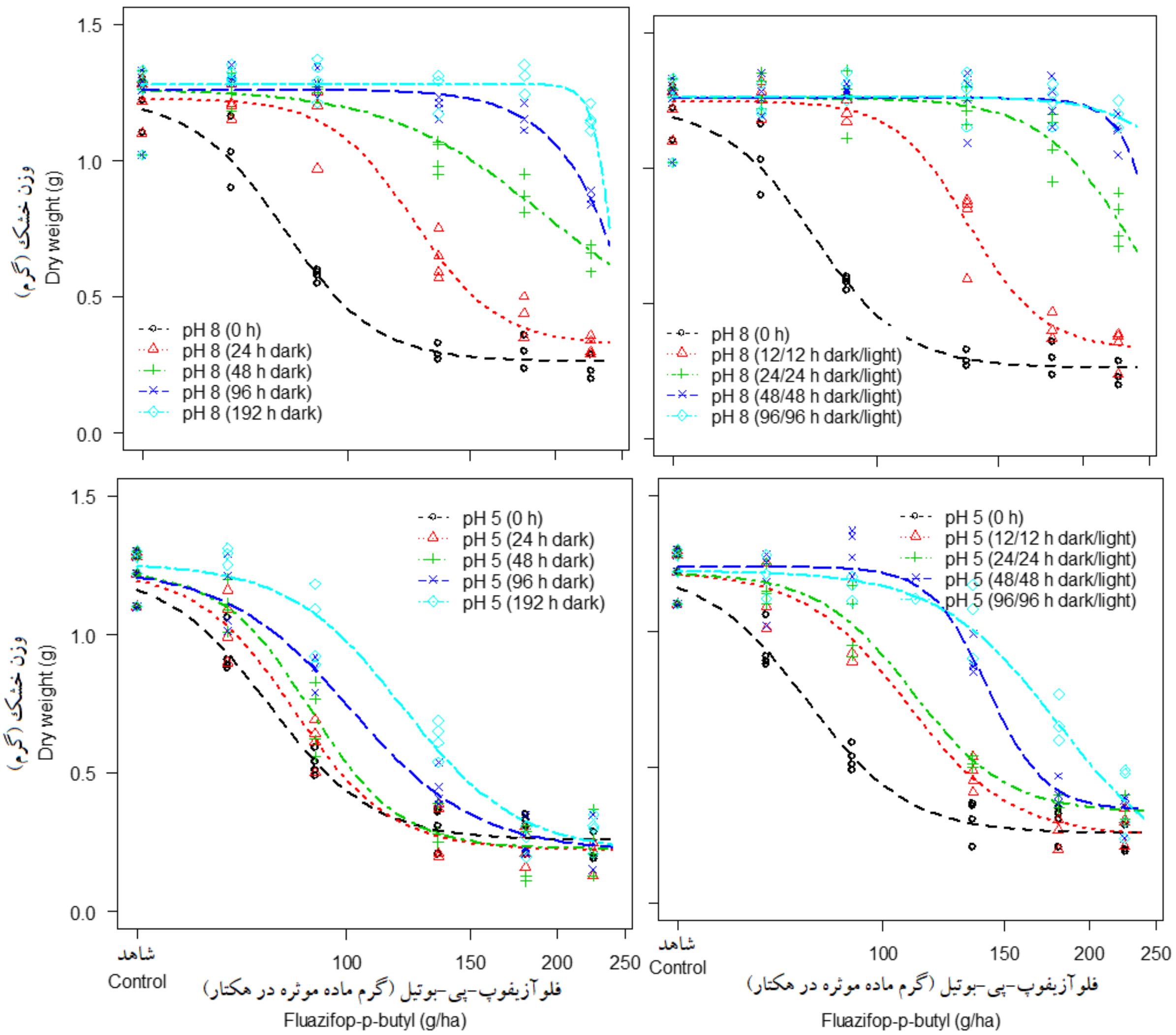
منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر هالوکسیفوپ-آر-متیل، فلوآزیفوپ-پی‌بوتیل و ستوکسیدیم وقتی پی‌اچ محلول پاشش آنها تغییر داده شده بود و تحت شرایط نوری مختلف برای مدت زمان متفاوت نگهداری شده بود به‌ترتیب در شکل ۱، ۲ و ۳ نمایش داده شده است. مقادیر ED_{50} این منحنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

در شرایطی که محلول پاشش بلافاصله بعد از تهیه پاشیده شد، کاهش دادن پی‌اچ از ۸ به ۵، تاثیر معنی‌داری بر مقادیر ED_{50} برای هالوکسی فوپ-آر-متیل و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل نداشت؛ در حالی که مقدار ED_{50} ستوکسیدیم را به طور معنی‌داری از ۱۳۶/۶۴ به ۱۱۳/۳۵ گرم ماده موثره در هکتار کاهش داد که نشان دهنده آن است که کاهش پی‌اچ آب می‌تواند باعث بهبود کارایی ستوکسیدیم در کنترل جودره شود (جدول ۱). نتیجه‌ای مشابهی قبلاً (McMullan,1996) مشاهده شده است. به‌طوری‌که کارایی علف‌کش‌های دیم (کلتودیم و ترالکوکسیدیم) علیه علف‌هرز قیاق با افزایش پی‌اچ محلول پاشش به بالای ۷ کاهش یافت. در حالی‌که کارایی علف‌کش‌های فوپ (کویزالوفوپ-اتیل و فنوکساپروپ-پی-اتیل) تحت تأثیر پی‌اچ محلول پاشش قرار نگرفت. وی دلیل احتمالی را به تفاوت در فرمولاسیون علف‌کش‌های فوق ارتباط داد. علف‌کش‌های فوپ به‌صورت پیش علف‌کش فرموله می‌شوند. یعنی به مولکول علف‌کش یک بخش استری متصل است (مانند اتیل، متیل، بوتیل و غیره). از این‌رو، آنها در محلول پاشش بدون بار الکتریکی هستند و به تغییر پی‌اچ واکنشی نمی‌دهند. در حالی که در محیط قلیایی، علف‌کش‌های اسیدی ضعیف (مانند دیم‌ها) دارای بار الکتریکی منفی در ساختار خود هستند؛ لذا، دارای خاصیت آب‌دوستی بیشتری هستند. در محیط اسیدی، این علف‌کش‌ها با دریافت یون هیدروژن به حالت بدون بار الکتریکی تبدیل و خاصیت آب‌گریزی بیشتری پیدا می‌کنند. به همین سبب، حلالیت در آب ستوکسیدیم در پی‌اچ‌های ۴ و ۷ به ترتیب برابر ۲۵ و ۴۷۰۰ میلی گرم در لیتر گزارش شده است (Tomlin, 2003). این تغییر در ویژگی شیمیایی علف‌کش، آنرا قادر می‌سازد تا از کوتیکول برگ بهتر نفوذ و جذب شود. سپس، علف‌کش بدون بار الکتریکی در داخل سلول (جایی که یون هیدروژن به دلیل پمپاژ آن به بیرون سلول نسبتاً کمیاب است) یک یون هیدروژن از دست می‌دهد و مجدداً مولکول‌های علف‌کش با بار الکتریکی منفی (آب‌دوست) تشکیل می‌شوند که خاصیت آب‌دوستی بیشتری پیدا می‌کند و قادر به خروج از سلول نیستند. به این طریق، علف‌کش‌های اسیدی ضعیف درون سلول (یا درون آوندهای آبکش) به دام افتاده و به طور کارآمدی منتقل می‌شوند (Sterling, 1994). در منابع، این پدیده را تله یونی نامیده‌اند. به همین دلیل، در پژوهش حاضر کارایی ستوکسیدیم با کاهش پی‌اچ آب سمپاشی افزایش یافت. بهبود کارایی دیگر علف‌کش‌های اسیدی با نحوه‌های عمل متفاوت مانند توفوردی (Devkota and Johnson, 2019)، کلروسولفورون (Fahl *et al.*, 1995)، گلایفوسیت (Molin & Hirase, 2004)، کلوپیرالید و پیکلورم (Palma *et al.*, 2015)، نیکوسولفورون (Green & Cahill, 2003) و سولفوسولفورون (Aliverdi *et al.*, 2020) ناشی از کاهش پی‌اچ محلول پاشش قبلاً گزارش شده است. با این حال، گزارشی مبنی بر عدم همبستگی پی‌اچ آب سمپاشی با کارایی علف‌کش‌های ستوکسیدیم و کلتودیم علیه قیاق وجود دارد (Bridges, 1989) که در آن از آب مقطر برای تهیه محلول سمپاشی استفاده شده است. در حالی‌که در آزمایش حاضر از آب مزرعه‌ای که حاوی کاتیون‌هایی است برای تهیه محلول‌های پاشش استفاده شد. یک دلیل احتمالی برای توضیح تضاد بین نتایج ما و گزارش قبلی (Bridges, 1989) آن است که کاتیون‌های موجود در آب دارای پی اچ ۸ از ابتدا با ستوکسیدیم واکنش داده و کارایی آنرا کاهش داده که با افزودن اسید سیتریک کارایی آن افزایش یافته است. با کاهش دادن پی‌اچ، اتصال مولکول علف‌کش به کاتیون‌های موجود در آب کاهش می‌یابد و کمپلکس کاتیون-علف‌کش کمتری تشکیل خواهد شد. در حالی‌که در آب قلیایی، مولکول علف‌کش در وضعیت یونیزه (بار الکتریکی منفی) قرار داشته و مستعد تشکیل کمپلکس کاتیون-علف‌کش است.



شکل ۱- منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف علف‌کش هالوکسیفوپ-آر-متیل وقتی پی‌اچ محلول پاشش آن تغییر داده شده بود و تحت شرایط نوری مختلف برای مدت زمان متفاوت نگهداری شده بود

Figure 1- The response curves of the dry weight of wild barely to different doses of haloxyfop-r-methyl when the pH of spray solution was changed and it was kept under different light conditions for different periods of time

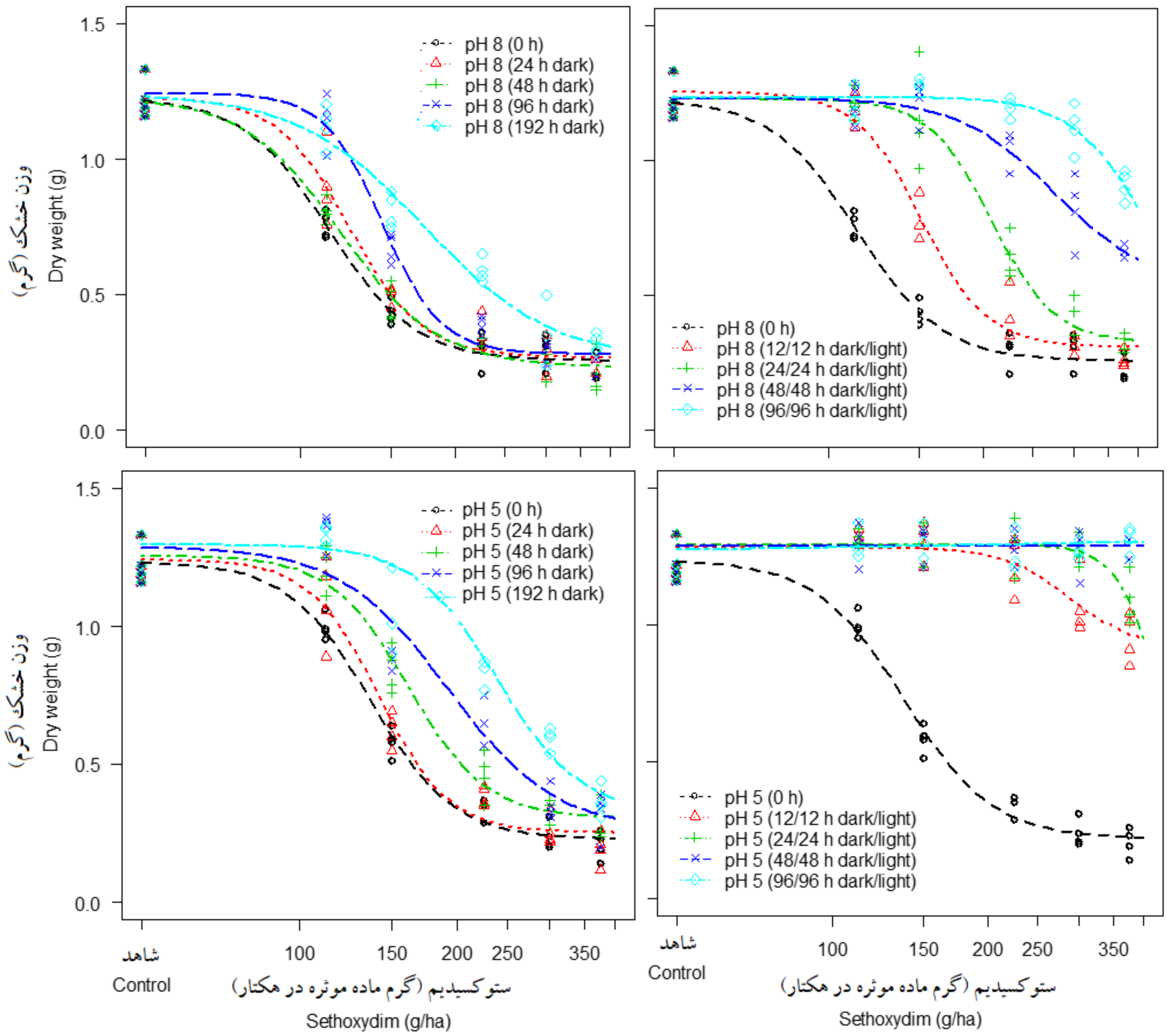


شکل ۲- منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف علف‌کش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل وقتی پی‌اچ محلول پاشش آن تغییر داده شده بود و تحت شرایط نوری مختلف برای مدت زمان متفاوت نگهداری شده بود

Figure 2- The response curves of the dry weight of wild barely to different doses of fluazifop-p-butyl when the pH of spray solution was changed and it was kept under different light conditions for different periods of time

در تیمار شاهد (تهیه محلول پاشش در همان روز سمپاشی با آبی دارای پی‌اچ ۸)، مقدار هالوکسیفوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره برابر ۳۴/۶۰ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد (جدول ۳-۱). وقتی پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸)، تیمارهای نگهداری ۲۴ ساعته محلول پاشش هالوکسیفوپ-آر-متیل تحت شرایط تاریکی (۴۳/۷۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) و نگهداری ۱۲+۱۲ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی (۴۱/۴۴ گرم ماده مؤثره در هکتار) به‌طوری معنی‌داری سبب کاهش کارایی هالوکسیفوپ-آر-متیل شدند. در حالی که وقتی پی‌اچ محلول پاشش کاهش داده شد (پی‌اچ ۵)، کارایی پنج تیمار (شامل: نگهداری ۲۴ و ۴۸ ساعته تحت شرایط تاریکی و نگهداری ۱۲+۱۲، ۲۴+۲۴ و ۴۸+۴۸ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی) با کارایی تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که با کاهش پی‌اچ محلول پاشش سرعت تجزیه هالوکسیفوپ-آر-متیل در آب کاهش یافته است و محلول پاشش آنرا می‌توان حداقل برای ۲ روز در هر شرایط نوری بدون اُفت کارایی آن نگهداری کرد. براساس گزارشات (FAO, 2012)، هالوکسیفوپ-آر-متیل در آبی با پی‌اچ برابر ۴ کاملاً پایدار است ولی در آبی با پی‌اچ‌های ۷ و ۹ به ترتیب دارای نیمه عمر ۴۳ و ۰/۶۳ روز است. نتایج نشان داد که در هر وضعیتی (از نظر پی‌اچ و نور)، با افزایش مدت زمان نگهداری محلول پاشش هالوکسیفوپ-آر-متیل، مقادیر پتانسیل نسبی به‌طور پیوسته کاهش یافت که حاکی از کاهش کارایی علف‌کش است

(جدول ۱). بدترین کارایی هالوکسیفوپ–آر–متیل در تیمار نگهداری ۹۶+۹۶ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی وقتی که پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸) مشاهده شد؛ به‌طوری‌که مدل قادر به برازش مناسب روی داده به دلیل عدم انتخاب مقادیر بالاتر علف‌کش در آزمایش نبود. همچنین نتایج نشان داد که در هر پی‌اچی، دو تیمار با مدت زمان کلی برابر از نظر آماری کارایی یکسانی به نمایش گذاشتند (بجز در مورد دو تیمار نگهداری ۹۶ ساعته تحت شرایط تاریکی و نگهداری ۴۸+۴۸ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی در زمانی که پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸). این نتیجه نشان می‌دهد که هالوکسیفوپ–آر–متیل به حضور نور حساس نیست. لذا، می‌توان استنباط کرد که اُفت کارایی مشاهده شده در این علف‌کش احتمالاً به دلیل آب‌کافت باشد، نه نورکافت. قبلاً، نیمه عمر ۲۰ روزه برای تجزیه نوری هالوکسیفوپ–آر–متیل گزارش شده است (FAO, 2012).



شکل ۳- منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف علف‌کش ستوکسیدیم وقتی پی‌اچ محلول پاشش آن تغییر داده شده بود و تحت شرایط نوری مختلف برای مدت زمان متفاوت نگهداری شده بود

Figure 3- The response curves of the dry weight of wild barely to different doses of sethoxydim when the pH of spray solution was changed and it was kept under different light conditions for different periods of time

جدول ۱- تاثیر پی‌اچ و مدت نگهداری محلول پاشش علف‌کش‌ها در شرایط نوری مختلف بر گرم ماده موثره در هکتار لازم از آنها برای کنترل ۵۰ درصدی علف‌هرز جودره.

Table 1- The effect of pH and the storage time of the spray solution of herbicides in different lightness conditions on the g a.i. ha^{-1} required to control 50% of wild barely.

pH	مدت (ساعت) و شرایط نگهداری Storage time (h) and conditions	هالوکسیفوپ-آر-متیل Haloxyfop-r-methyl	پتانسیل نسبی Relative potency	فلوآزیفوپ-پی-بوتیل Fluazifop-p-butyl	پتانسیل نسبی Relative potency	ستوکسیدیم Sethoxydim	پتانسیل نسبی Relative potency
8	0 (Control شاهد)	34.60 (2.16) ab	1.00	80.64 (2.12) ab	1.00	136.64 (3.28) c	1.00
	24 in dark تاریکی	43.78 (2.57) c	0.79	124.33 (4.10) e	0.64	124.44 (5.81) b	1.09
	48 in dark	60.17 (3.47) e	0.57	192.16 (5.36) g	0.41	119.62 (3.38) ab	1.14
	96 in dark	86.43 (9.39) f	0.40	289.01 (15.94) i	0.27	144.22 (3.38) d	0.94
	24 in dark	141.30 (18.47) g	0.24	> 297.40 i	0.27	174.17 (13.00) e	0.78
	12 in dark + 12 in light روشنایی	41.44 (3.17) cd	0.83	135.85 (3.72) f	0.59	151.43 (5.04) de	0.90
	24 in dark + 24 in light	62.46 (3.57) e	0.55	222.97 (17.68) h	0.36	207.21 (7.92) f	0.65
	48 in dark + 48 in light	130.94 (19.07) g	0.26	> 293.28 i	0.27	275.42 (39.44) g	0.49
	96 in dark + 96 in light	> 145.36 g	0.23	> 330.89 i	0.24	431.76 (37.76) i	0.31
5	0	30.75 (2.03) a	1.12	77.42 (2.12) a	1.04	113.35 (3.04) a	1.21
	24 in dark	38.21 (2.71) bc	0.90	83.99 (2.54) b	0.96	141.64 95.02) cd	0.96
	48 in dark	34.22 (2.71) ab	1.01	88.55 (2.81) b	0.91	161.25 (6.87) e	0.84
	96 in dark	42.59 (2.63) c	0.81	101.31 (4.86) c	0.79	191.62 (17.60) ef	0.71
	24 in dark	49.72 (2.89) d	0.69	120.12 (5.69) e	0.67	237.81 (33.00) fg	0.57
	12 in dark + 12 in light	33.46 (3.44) ab	1.03	108.20 (4.87) cd	0.74	292.11 (44.10) g	0.46
	24 in dark + 24 in light	37.10 (2.88) b	0.93	110.35 (3.87) c	0.73	> 450.04 i	0.30
	48 in dark + 48 in light	41.12 (2.49) bc	0.84	141.84 (4.41) f	0.56	> 473.56 i	0.28
	96 in dark + 96 in light	56.03 (7.67) de	0.61	179.58 (24.11) gh	0.44	> 611.70 i	0.22

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند. در هر ستون، ED_{50} های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلافی ندارند.

مقادیر پتانسیل نسبی از حاصل تقسیم مقدار شاهد به مقدار تیمارها بدست آمده است.

Numbers in parentheses are standard errors. In the column, the ED_{50}s with the same letter are not statistically different at the 5% probability level.
Relative potential values are obtained by dividing the control value by the treatment value.

در تیمار شاهد، مقدار فلوآزیفوپ-پی-بوتیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره برابر ۸۰/۶۴ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد (جدول ۱). وقتی پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸)، تمامی تیمارهای نگهداری محلول پاشش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل به‌طوری معنی‌داری سبب کاهش کارایی فلوآزیفوپ-پی-بوتیل شدند. در حالی‌که وقتی پی‌اچ محلول پاشش کاهش داده شد (پی‌اچ ۵)، کارایی دو تیمار شامل نگهداری ۲۴ و ۴۸ ساعته محلول پاشش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل در تاریکی (به‌ترتیب با ED_{50} برابر ۸۳/۹۹ و ۸۸/۵۵ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کارایی تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که با کاهش پی‌اچ محلول پاشش و عدم حضور نور سرعت تجزیه فلوآزیفوپ-پی-بوتیل در آب کاهش یافته است. از اینرو، محلول پاشش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل را می‌توان برای ۲ روز در شرایط تاریکی و کاهش پی‌اچ بدون اُفت کارایی آن نگهداری کرد. براساس گزارشات (FAO, 2016)، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل در آبی با پی‌اچ ۵ پایدار است ولی در آبی با پی اچ‌های ۷ و ۹ به ترتیب دارای نیمه عمر ۷۸ روز و ۲۹ ساعت است. نتایج نشان داد که در هر وضعیتی (از نظر پی‌اچ و نور)، با افزایش مدت زمان نگهداری محلول پاشش فلوآزیفوپ-پی-بوتیل، مقادیر پتانسیل نسبی به طور پیوسته کاهش یافت که حاکی از کاهش کارایی علف‌کش است (جدول ۱). بدترین کارایی در سه تیمار (شامل: تیمارهای نگهداری ۱۹۲ ساعته در تاریکی و نگهداری ۴۸+۴۸ و ۹۶+۹۶ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی وقتی پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸) مشاهده شد؛ به طوری که مدل قادر به برازش مناسب روی داده به دلیل عدم انتخاب مقادیر بالاتر علف‌کش نبود. به هر حال، مقدار فلوآزیفوپ-پی-بوتیل لازم برای کنترل ۵۰ درصدی وزن خشک جودره در سه تیمار فوق حدوداً بیشتر از ۳۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار پیش‌بینی شده است. همچنین، نتایج نشان داد که در هر پی‌اچی، دو تیمار با مدت زمان کلی برابر از نظر آماری کارایی متفاوتی به نمایش گذاشتند به‌طوری که تیمارهای تاریکی + روشنایی مقادیر بالاتری از ED_{50} را در مقایسه با تیمارهای تاریکی متناظر خود داشتند (جدول ۱). این نتیجه نشان می‌دهد که فلوآزیفوپ-پی-بوتیل به حضور نور حساس است. لذا، می‌توان استنباط کرد که اُفت کارایی مشاهده شده در این علف‌کش تواماً به دلیل آب‌کافت و نوکافت اتفاق افتاده است. قبلاً، نیمه عمر ۶ روزه برای تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل تحت شرایط تابش نور خورشید در شرایط فلوریدای آمریکا گزارش شده است (FAO, 2016). قبلاً، عدم تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل تحت شرایط نور ماوراء بنفش (Burger *et* Balah *et al.*, 2017 ; *al.*, 2012) گزارش شده است. در حالی‌که تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل تحت شرایط نور خورشید و نور ماوراء بنفش نیز گزارش شده است (Li *et al.*, 2019). آنها بیان کردند که در طی فرآیند تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل، ۱۲ متابولیت مختلف در ۵ مسیر مختلف تجزیه‌ی مختلف تشکیل می‌شود. سرعت تجزیه فلوآزیفوپ-پی-بوتیل تحت شرایط نور ماوراء بنفش بیشتر از نور خورشید بود. در تحقیقی دیگر (Li *et al.*, 2021)، گزارش شده است که تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل به حضور نوع کاتیون در آب وابسته است. کاتیون‌های منگنز و قلع باعث تسریع و کاتیون‌های کبالت و لیتیوم باعث توقف تجزیه نوری فلوآزیفوپ-پی-بوتیل می‌شوند. وابستگی تجزیه نوری آترازین به حضور کاتیون کبالت در آب (Chan & Chu, 2009) و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل به حضور اکسید تیتانیوم در آب (Li *et al.*, 2019) به اثبات رسیده است.

در تیمار شاهد، مقدار ستوکسیدیم لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره برابر ۱۳۶/۶۴ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد (جدول ۱). وقتی پی‌اچ محلول پاشش تغییر داده نشده بود (پی‌اچ ۸)، تمامی تیمارهای نگهداری به‌طوری معنی‌داری سبب کاهش کارایی ستوکسیدیم علیه جودره در مقایسه با تیمار شاهد شدند. وقتی پی‌اچ محلول پاشش کاهش داده شد (پی‌اچ ۵) نیز کارایی تمامی تیمارها در مقایسه با تیمار بدون نگهداری به‌طور معنی‌داری کمتر بود. این نتایج نشان دهنده حساسیت بسیار شدید ستوکسیدیم به نگهداری محلول پاشش آن است که تغییر شرایط نگهداری، بویژه پی‌اچ، نه تنها کمکی در حفظ کارایی این علف‌کش نکرده است؛ بلکه سبب اُفت بیشتر کارایی نیز شد. در هر پی‌اچی، دو تیمار با مدت زمان کلی برابر از نظر آماری کارایی متفاوتی به نمایش گذاشتند (جدول ۱). به‌طوری‌که کارایی تیمار وقتی محلول پاشش آن نور دریافت کرده بود پایین تر از وقتی بود که محلول پاشش در تاریکی نگهداری شده بود. این نتیجه نشان می‌دهد که ستوکسیدیم به حضور نور حساس است. از طرفی دیگر، با مقایسه جفت جفت تیمارهای متناظری که فقط از نظر پی‌اچ تفاوت داشتند، مشخص شد وقتی پی‌اچ از ۸ به ۵کاهش داده شد، کارایی ستوکسیدیم در کنترل جودره بطور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که در سه تیمار (شامل: تیمارهای نگهداری ۲۴+۲۴، ۴۸+۴۸ و ۹۶+۹۶ ساعته تحت شرایط تاریکی و روشنایی طبیعی در زمانی که پی‌اچ محلول پاشش به ۵ تغییر داده شده بود)، به دلیل عدم کنترل جودره با کاربرد مقادیر مختلف ستوکسیدیم که پاشیده شد، مدل توانایی برازش مناسب روی داده‌ها را نداشت. به هر حال، مقدار ستوکسیدیم لازم برای کنترل ۵۰ درصدی وزن خشک جودره در سه تیمار فوق بیشتر از ۴۵۰ گرم ماده موثره در هکتار پیش‌بینی شده است. لذا، می‌توان استنباط کرد که کاهش کارایی مشاهده شده در کارایی این علف‌کش به دلیل هم آب‌کافت است و هم نورکافت. نتایج نشان داد که در هر وضعیتی (از نظر پی‌اچ و نور)، با افزایش مدت زمان نگهداری محلول پاشش ستوکسیدیم، مقادیر پتانسیل نسبی به

طور پیوسته کاهش یافت که حاکی از کاهش کارایی علف‌کش است (جدول ۱). براساس گزارش قبلی، ستوکسیدیم در آب با پی‌اچ‌های برابر ۳، ۶ و ۹ به‌ترتیب دارای نیمه عمر ۱/۶، ۴۵ و ۴۳۸ روز است (ECHA, 2022). در پی‌اچ برابر ۸/۷، وقتی محلول علف‌کش در معرض تابش نور لامپ زنون به مدت ۱۲ ساعت در روز بود، نیمه عمر ستوکسیدیم ۵/۵ روز گزارش شده است. در تحقیقات قبلی نیز تجزیه سریعتر ستوکسیدیم با افزایش پی‌اچ گزارش شده است (Shoaf & Carlson, 1992). در تحقیقی دیگر، تجزیه نوری ستوکسیدیم و کلتودیم مورد بررسی و گزارش شده است (Sandín-España *et al*., 2016). آنها همچنین ثابت کردند که هر چقدر مدت زمانی علف‌کش‌ها در معرض نور قرارگیر می‌گیرند بیشتر باشد، میزان تجزیه بیشتر می‌شود. در طول مدت آزمایش (۳ ساعت)، تیمار تاریکی هیچ تاثیری در تجزیه علف‌کش‌ها نداشت. در گزارشی دیگر (Hamami & Farrokhi, 2018)، محققین گزارش کردند که با افزایش دوره نگهداری محلول پاشش علف‌کش سیکلوکسیدیم (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) در ظروف پلی‌اتیلنی، کارایی آن در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی به‌ترتیب ۵، ۳۵ و ۵۶ درصد در مقایسه با تهیه و کاربرد در روز سمپاشی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

در بین علف‌کش‌های مورد بررسی در این آزمایش، ستوکسیدیم حساسیت بسیار شدیدی به نگهداری محلول پاشش نشان داشت؛ به طوری‌که امکان نگهداری محلول پاشش ستوکسیدیم بدون اُفت کارایی آن، حتی به‌مدت یک روز، با تغییر در پی‌اچ و حذف نور میسر نشد. در حالی‌که با کاهش پی‌اچ و نگهداری محلول پاشش هالوکسیفوپ-آر-متیل و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل در شرایط تاریکی، می‌توان از اُفت کارایی این دو علف‌کش تا دو روز بعد از نگهداری محلول پاشش جلوگیری کرد. براساس نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد که اُفت کارایی علف‌کش‌های ستوکسیدیم و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل در طول مدت نگهداری محلول پاشش توأماً به سبب نورکافت و آب-کافت باشد ولی اُفت کارایی علف‌کش‌های هالوکسیفوپ-آر-متیل در طول مدت نگهداری محلول پاشش صرفاً به سبب آب‌کافت باشد.

Refrences

1. Abd-Alrahman, S.H., Kotb, G.A.M., Farag, A.A.Gh., & Elhalwagy, M.E.A. (2014). Bioconcentration and metabolism of diclofop-methyl in freshwater fish (*Oreochromis niloticus*). *Asian Journal of Chemistry*, *26*(10), 3101-3104. https://doi.org/10.14233/ajchem.2014.16903
2. Ahemad, M., & Khan, M.S. (2009). Toxicity assessment of herbicides quizalafop-p-ethyl and clodinafop towards Rhizobium pea symbiosis. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *82*(6), 761-766. https://doi.org/10.1007/s00128-009-9692-x
3. Aliverdi, A., & Karami, S. (2020). The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). *Journal of Plant Protection*, *33*(4), 465-474. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/jpp.v33i4.81208
4. Aliverdi, A., Badrkhani, S., & Ahmadvand, G. (2020). The effect of sequence and time interval of adding adjuvant and sulfosulfuron to hard water in the control of winter wild oat (*Avena sterilis* sp. *ludoviciana* Durieu.). *Journal of Plant Protection*, *34*(3), 373-383. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v34i3.85993
5. Badawi, N., Rosenbom, A.E., Olsen, P., & Sørensen, S.R. (2015). Environmental fate of the herbicide fluazifop-P-butyl and its degradation products in two loamy agricultural soils: A combined laboratory and field study. *Environmental Science & Technology*, *49*(15), 8995-9003. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00406
6. Balah, M.A., Gamal Aldin, A.-R., Zidan, Z.H., & Dahroug, S.A. (2017). Photo and thermal degradation of glyphosate and fluazifop-butyl herbicides with and without additives. *Al-Mukhtar Journal of Sciences*, *32*(2), 118-127. https://doi.org/10.54172/mjsc.v32i2.184
7. Boerboom, C. (2004). *Field case studies of dicamba movement to soybeans. Wisconsin Fertilizer, Aglime, and Pest Management Conference Proceedings*. Information website: www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/fertaglime04.htm
8. Bridges, D.C. (1989). Adjuvant and pH effects on sethoxydim and clethodim activity on rhizome johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Technology*, *3*(4), 615-620. https://doi.org/10.1017/S0890037X00032905
9. Buerge, I.J., Pavlova, P., Hanke, I., Bächli, A., & Poiger, T. (2020). Degradation and sorption of the herbicides 2, 4-D and quizalofop-P-ethyl and their metabolites in soils from railway tracks. *Environmental Sciences Europe*, *32*(1), 1-15. https://doi.org/10.1186/s12302-020-00422-6
10. Burger, K., MacRae, I., & Alexander, M. (2012) Decomposition of phenoxyalkyl carboxylic acids. *Soil Science Society of America Journal*, *26*(3), 243-246.
11. Cai, X., Liu, W., Jin, M., & Lin, K. (2007). Relation of diclofop-methyl toxicity and degradation in algae cultures. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *26*(5), 970-975. https://doi.org/10.1897/06-440R.1

12. Chan, K.-H., & Chu, W. (2009). Degradation of atrazine by cobalt–mediated activation of peroxymonosulfate: different cobalt counteranions in homogenous process and cobalt oxide catalysts in photolytic heterogeneous process. *Water Research*, *43*(9), 2513-2521. https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.02.029
13. Chen, G., Tamar, K., Fahima, T., Zhang, F., Korol, A.B., & Nevo, E. (2004). Differential patterns of germination and desiccation tolerance of mesic and xeric wild barley (*Hordeum spontaneum*) in Israel. *Journal of Arid Environments*, *56*(1), 95-105. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00321-X
14. Devkota, P., & Johnson, W.G. (2019). Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technology*, *33*(4), 562-568. https://doi.org/10.1017/wet.2019.31
15. ECHA. (2022). *European Chemicals Agency. Sethoxydim*. Information website: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sethoxydim#section=Information-Sources
16. Eure, P.M., Jordan, D.L., Bacheler, J.S., York, A.C., Fisher, L.R., & Wells, R. (2011). Performance of cotton agrochemicals when spray solution application is delayed. *Journal of Cotton Science*, *15*, 215-223.
17. Eure, P.M., Jordan, D.L., & York, A.C. (2013). Efficacy of herbicides when spray solution application is delayed. *International Journal of Agronomy*, *2*, 782486. https://doi.org/10.1155/2013/782486
18. Fahl, G.M., Kreft, L., Altenburger, R., Faust, M., Boedeker, W., & Grimme, L.H. (1995). pH-dependent sorption, bioconcentration and algal toxicity of sulfonylurea. *Aquatic Toxicology*, *31*(2), 175-187. https://doi.org/10.1016/0166-445X(94)00067-Z
19. FAO, (2012). *FAO Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides. Haloxyfop-P-Methyl*. Information website: https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Specs/haloxyfop_2012.pdf
20. FAO, (2016). *FAO Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides. Fluazifop-P-butyl*. Information website: https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Report2016/FLUAZIFOP-P-BUTYL.pdf
21. Green, J.M., & Cahill, W.R. (2003). Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. *Weed Technology*, *17*(2), 338-345. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0338:ETBAON]2.0.CO;2
22. Hamami, H., & Farrokhi, A. (2018). *Evaluation of the shelf life of the herbicide solution in the reservoir on the effectiveness of wild oat control* (*Avena ludoviciana* Durieu.). The 8th Iranian Weed Science Conference. 5-7 September 2018. Ferdowsi University of Mashhad. 755-758. (In Persian)
23. Harrison, S.K., & Wax, L.M. (1986). The effect of adjuvants and oil carriers on photodecomposition of 2,4-D, bentazon, and haloxyfop. *Weed Science*, *34*(1), 81-87. https://doi.org/10.1017/S0043174500026503
24. Hazra, D.K., Karmakar, R., Majumder, S.P., Maji, S., Bhattacharya, S., Chakraborty, M., & Bhattacharrya, A. (2015). Effect of pH on dissipation of propaquizafop in water. *International Journal of Bioresource Science*, *2*(1), 33-36.
25. Jing, X., Yao, G., Liu, D., Liu, M., Wang, P., & Zhou, Z. (2016). Environmental fate of chiral herbicide fenoxaprop-ethyl in water-sediment microcosms. *Scientific Reports*, *6*(1), 1-7. https://doi.org/10.1038/srep26797
26. Li, G., Hou, Z., Zhang, R., Chen, X., & Lu, Z. (2019). Nanometer Titanium Dioxide mediated high efficiency photodegradation of Fluazifop-p-Butyl. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(19), 3600. https://doi.org/10.3390/ijerph16193600
27. Li, G., Li, S., Liu, C., & Jiang, J. (2021). Effect of main inorganic metal elements in Panax ginseng field soil on the photodegradation of fluazifop-p-butyl. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(38), 52901-52912. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14091-2
28. Lin, Y., Lin C., Yeh K., & Lee A. (2000). Photodegradation of the herbicides butachlor and ronstar using natural sunlight and diethylamine. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *64*(6), 780-785. https://doi.org/10.1007/s001280000071
29. Lin, C.H., Lerch, R.N., Garrett, H.E., & George, M.F. (2003). Degradation of isoxaflutole (Balance) herbicide by hypochlorite in tap water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(27), 8011-8014. https://doi.org/10.1021/jf034473b
30. Lin, J., Chen, J., Cai, X., Qiao, X., Huang, L., Wang, D., & Wang, Z. (2007). Evolution of toxicity upon hydrolysis of fenoxaprop-p-ethyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(18), 7626-7629. https://doi.org/10.1021/jf071009o
31. Lin, J., Chen, J., Wang, Y., Cai, X., Wei, X., & Qiao X. (2008). More toxic and photoresistant products from photodegradation of fenoxaprop-p-ethyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(17), 8226-8230. https://doi.org/10.1021/jf801341s
32. McMullan, P.M. (1996). Grass herbicide efficacy as influenced by adjuvant, spray solution pH, and ultraviolet light. *Weed Technology*, *10*(1), 72-77. https://doi.org/10.1017/S0890037X00045735
33. Molin, W.T., & Hirase, K. (2004). Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly side, purple nutsedge, and sicklepod. *Weed Biology and Management*, *4*(3), 136-141. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2004.00130.x

34. Nalewaja, J.D., Matysiak, R., & Szelezniak, E. (1994). Sethoxydim response to spray carrier chemical properties and environment. *Weed Technology*, *8*(3), 591-597. https://doi.org/10.1017/S0890037X00039749
35. Palma, G., Demanet, R., Jorquera, M., Mora, M.L., Briceño, G., & Violante, A. (2015). Effect of pH on sorption kinetic process of acidic herbicides in a volcanic soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient*, *15*(3), 549-560.
36. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PLoS One*, *10*(12), e0146021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021
37. Roy, S., & Singh, S.B. (2005). Phototransformation of clodinafop-propagyl. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, *40*(4), 525-534. https://doi.org/10.1081/PFC-200061518
38. Saha, S., Majumder, S., Das, S., Das, T.K., Bhattacharyya, A., & Roy, S. (2018). Effect of ph on the transformation of a new readymix formulation of the herbicides bispyribac sodium and metamifop in water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *100*(4), 548-552. https://doi.org/10.1007/s00128-018-2269-9
39. Sandín-España, P., Sevilla-Morán, B., Calvo, L., Mateo-Miranda, M., & Alonso-Prados, J.L. (2013). Photochemical behavior of alloxydim herbicide in environmental waters. Structural elucidation and toxicity of degradation products. *Microchemical Journal*, *106*, 212-219. https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.07.003
40. Sandin-Espana, P., Sevilla-Moran, B., Lopez-Goti, C., Mateo-Miranda, M.M., & Alonso-Prados, J.L. (2016). Rapid photodegradation of clethodim and sethoxydim herbicides in soil and plant surface model systems. *Arabian Journal of Chemistry*, *9*(5), 694-703. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.04.007
41. Schortgen, G.P., & Patton, A.J. (2020). Weed control by 2, 4-D dimethylamine depends on mixture water hardness and adjuvant inclusion but not spray solution storage time. *Weed Technology*, *34*(1), 107-116. https://doi.org/10.1017/wet.2019.117
42. Sevilla-Morán, B., Calvo, L., López-Goti, C., Alonso-Prados, J.L., & Sandín-España, P. (2017). Photodegradation behaviour of sethoxydim and its comercial formulation Poast® under environmentally-relevant conditions in aqueous media. Study of photoproducts and their toxicity. *Chemosphere*, *168*, 501-507. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.026
43. Shoaf, A.R., & Carlson, W.C. (1992). Stability of sethoxydim and its degradation products in solution, in soil, and on surfaces. *Weed Science*, *40*(3), 384-389. https://doi.org/10.1017/S004317450005178X
44. Silveira, R.R., Santos, M.V., dos Santos, J.B., Ferreira, E.A., & da Silva, L.D. (2020). The effect of spray solution storage time on nicosulfuron efficacy applied in *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Research, Society and Development*, *9*(7), e778974713-e778974713. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4713
45. Sterling, T.M. (1994). Mechanisms of herbicide absorption across plant membranes and accumulation in plant cells. *Weed Science*, *42*(2), 263-276. https://doi.org/10.1017/S0043174500080383
46. Stewart, C.L., Nurse, R.E., Cowbrough, M., & Sikkema, P.H. (2009). How long can a herbicide remain in the spray tank without losing efficacy?. *Crop Protection*, *28*(12), 1086-1090. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.05.003
47. Tomlin, C.D.S. (2003). *The e-Pesticide Manual: a world compendium*. Sethoxydim. British Crop Protection Council, UK.
48. Xue, R.D., Qualls, W.A., Zhong, H., & Brock, C.L. (2008). Permethrin decomposition after four month storage in the spray truck tanks during mosquito off season. *Journal of the American Mosquito Control Association*, *24*(1), 127-129. https://doi.org/10.2987/5581.1
49. Zhang, Q., & Pehkonen, S.O. (1999). Oxidation of diazinon by aqueous chlorine: kinetics, mechanisms, and product studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(4), 1760-1766. https://doi.org/10.1021/jf981004e